In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful









Muscle strié squelettique, aspects mécaniques et énergétiques :

Introduction :

Le muscle est un tissu capable de générer une force (système enzymatique + appareil contractile => conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique) et de la transmettre.

La motricité somatique regroupe l'ensemble des fonctions qui permet à un organisme de se déplacer ou d'interagir avec son milieu en mobilisant des pièces squelettiques.

Fonctions :

- Ils permettent les mouvements
- Ils permettent de maintenir une posture
- Ils participent à la régulation de la Température corporelle grâce à leur masse importante

Propriétés essentielles :

- Contractilité
- Excitabilité
- Elasticité : Capacité de se déformer sous l'influence d'une force extérieure puis de reprendre sa forme initiale quand la contrainte cesse. Elle est due à la présence de composantes élastiques en série, en parallèle.
- Tonicité : capacité de garder un état de contraction même au repos.

Biomécanique :

- Contraction isotonique (anisométrique) : elle peut être concentrique ou excentrique. Il y a raccourcissement du muscle, la tension reste constante. Utilisée pour effectuer des mouvements.
- Contraction isométrique : La longueur du muscle reste constante, la tension augmente. Utilisée dans le maintien de la posture
  - La tension maximale développée par un muscle a lieu en contraction isométrique.

Propriétés mécaniques au repos :

1- Elasticité : Due aux composantes contractiles et à la présence de composantes élastiques en série (stries Z, tendons) et en parallèle (sarcolemme, RE, T. conjonctif...)

Le muscle résiste avec une force croissante au fur et à mesure de son étirement, il retrouve sa longueur initiale lorsque la force qui l'étire cesse.

2- Plasticité : Due aux composantes contractiles (structure de type viscoplastique).

Le muscle se transforme en réponse à des sollicitations physiologiques ou pathologiques ou à des défauts génétiques.

Il peut générer plus de force, être plus résistant à la fatigue ou générer une hypertrophie.

Modèle mécanique de HILL :

Tension passive est due à :

- Eléments élastiques en parallèle (tissu conjonctif, sarcolemme etc.)

Tension active est due à :

- Eléments élastiques en série (tendon et strie Z etc.) et éléments contractiles (myofibrilles)

Pendant la tension active :
Les éléments contractiles créent l'énergie mécanique de contraction, et les éléments élastiques en série s'allongent

Pendant la tension passive :
Les éléments élastiques en parallèle subissent une déformation réversible

Notion de longueur de repos (naturelle) : un muscle au repos, dans les conditions physiologiques présente une longueur correspondant à la longueur de repos.

Notion de longueur d'équilibre : lorsqu'on sectionne le tendon d'un muscle à sa longueur de repos il a tendance à se raccourcir de 20% => Longueur d'équilibre

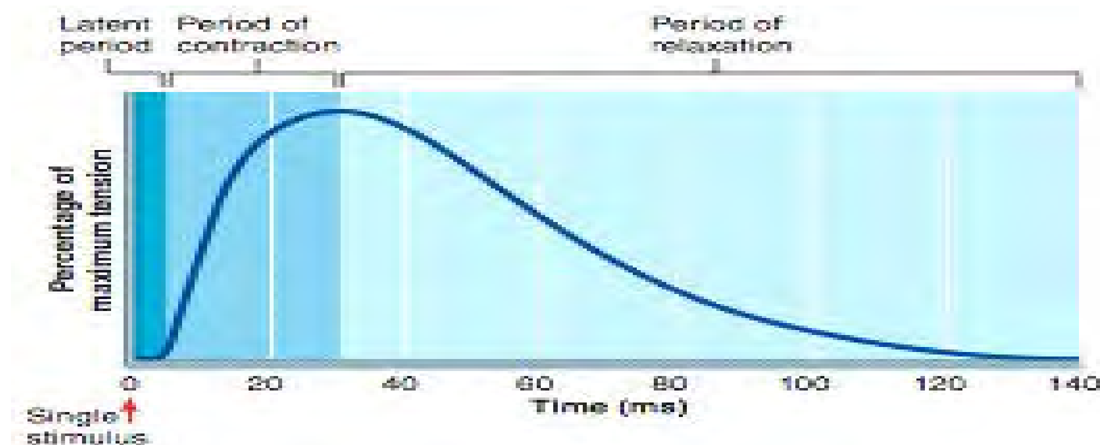
Notion de précharge : correspond à la charge nécessaire pour maintenir le muscle à sa longueur de repos.

Propriétés mécaniques en activité :

1- Secousse musculaire : contraction brève du muscle à la suite d'un seul PA, elle est divisée :

- Latence : couplage excitation contraction.
- Phase de contraction : 10 à 100ms, développement de la tension active, sa durée augmente avec le froid
- Phase de décontraction : relâchement du muscle (4x plus long que la contraction), sa durée augmente avec le froid et la fatigue

Durée : muscles rapides (oculomoteur) : 7 à10 ms – muscles lents (soléaire) : 90 à 120 ms. Ces différences reflètent les caractéristiques métaboliques de leurs myofibrilles et la présence d'enzymes différentes.

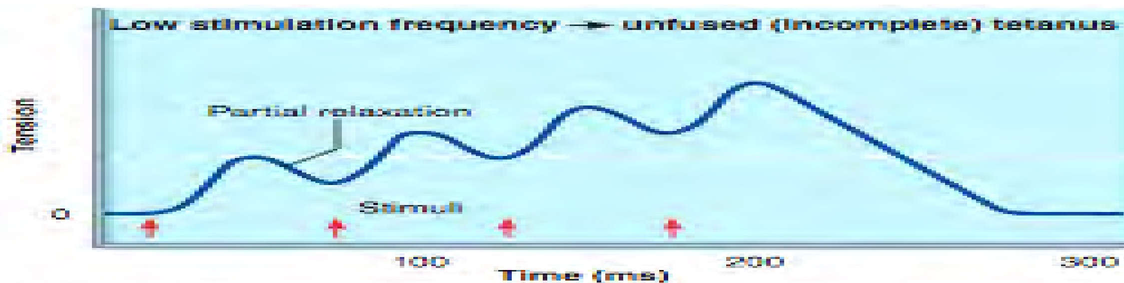


2- Réponses musculaires graduées :

Si les fibres musculaires répondent à la loi du tout ou rien, cela ne les empêche pas de présenter des phénomènes de fusion mécanique des secousses**.**

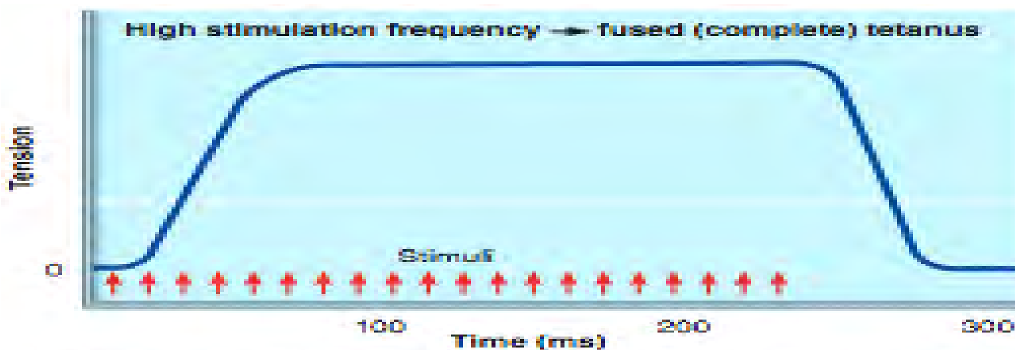
Somation temporelle :

Fusion des secousses lorsque la fréquence est suffisamment grande.
Si la fréquence est trop grande, cela induit un tétanos incomplet, la tension développée par le muscle est plus importante :



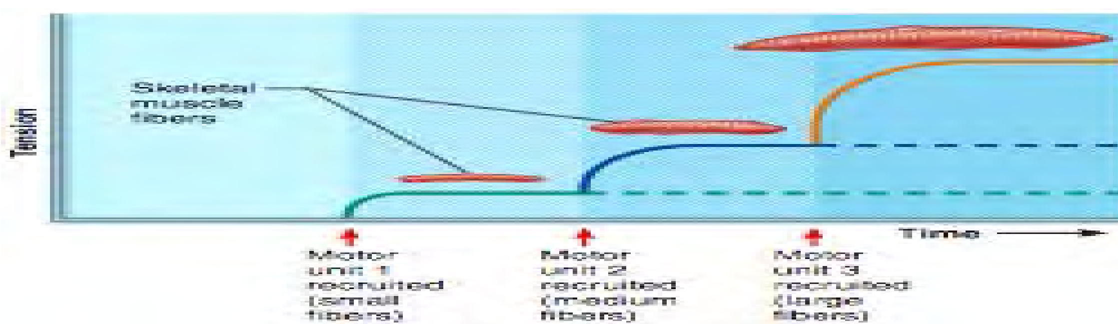
(b) If another stimulus is applied before the muscle relaxes completely, then more tension results. This is wave (or temporal) summation and results in unfused (or incomplete) tetanus.

Lorsque la tension atteint son maximum, tout signe de relâchement disparaît et les contractions fusionnent en une longue contraction régulière : tétanos complet



(c) At higher stimulus frequencies, there is no relaxation at all between stimuli. This is fused (complete) tetanus.

Somation spatiale : Lorsque l'intensité du stimulus augmente, il y a recrutement de nouvelles unités motrices.
Le mécanisme de recrutement n'est pas aléatoire, il est dicté par le principe de taille.
Il y a d'abord recrutement des petites fibres, innervées par de petits neurones à bas seuil ; ensuite ce sont les fibres moyennes qui sont recrutées (neurones de seuil plus élevé) ; enfin les grosses fibres sont recrutées à la fin
Il peut arriver que toutes les unités motrices d'un muscle s'activent en même temps pour produire une contraction extrêmement forte, mais la plupart du temps elles fonctionnent de manière asynchrone : certaines sont en tétanos (habituellement incomplet) pendant que d'autres sont au repos.



Différents types de fibres musculaires squelettiques :

	Fibres oxydatives à contraction lente (type I)	Fibres oxydatives à contraction rapide (type II a)	Fibres glycolytiques à contraction rapide (type II b)
Taille	Petites	Moyennes	Grandes
Vitesse de fatigue	Résistance à la fatigue	Fatigabilité moyenne	Grande fatigabilité
Concentration en myoglobine + couleur	Haute, rouges	Haute, roses	Basse, blanches
Voie de synthèse	Aérobie	Aérobie et un peu de	Anaérobie (absence de

d'ATP		glycolyse anaérobie	mitochondries)
Activité adaptée	Endurance	Sprint	Mouvements puissants

- Le passage d'un type de fibres à l'autre découle de programmes d'exercices particuliers.

Relation force – vitesse :

Plus la charge est élevée, plus la vitesse de contraction du muscle diminue. La vitesse de contraction du muscle correspond à l'équation de HILL :

V = (Po-P).b / p+a Po = max de Tension développée par le muscle



P = pré et post charge, a = cte de vitesse, b = cte de force

Relation tension – longueur :

La force active dépend du degré de chevauchement entre filaments fin et épais, elle est maximale à la longueur de repos (sarcomère relâché). C'est à dire à la longueur à laquelle peuvent se former le maximum de ponts entre l'actine et la myosine.

A : Pas de chevauchement des filaments fins et épais

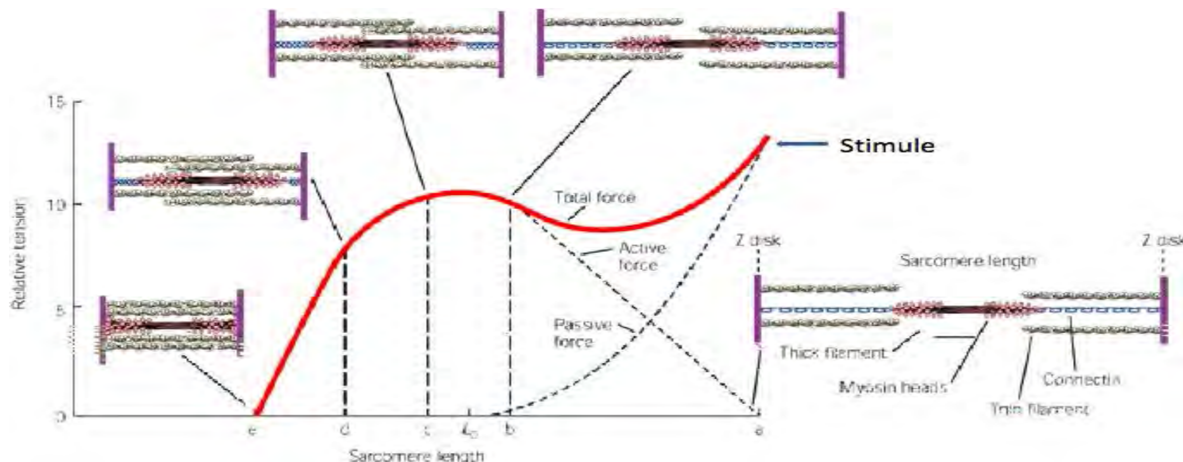
A-B : Chevauchement des filaments, la force augmente linéairement avec la décroissance du sarcomère

L0 : longueur optimale, la force est constante parce que la portion centrale des filaments épais ne contient pas de têtes de myosine.

C-D et D-E : La force diminue car il y a chevauchement des filaments fins entre eux entrainant une diminution des zones de contacts entre filaments fins et épais

La force passive existe en dehors de toute activation, elle commence au point L0, augmente exponentiellement puis linéairement au fur et à mesure que le muscle s'allonge

Si on soumet un muscle à un étirement croissant et que l'on stimule ce muscle, le muscle présentera



une tension totale qui sera la somme d'une tension passive et d'une tension active.

Aspects énergétiques :

La source d'énergie immédiate du muscle est représentée par l'ATP, celui-ci s'épuise en quelques secondes, alors il est renouvelé suivant différentes réactions :

Voie anaérobie alactique :

- ADP + CP ====> ATP + C (s'épuisent rapidement)
- 2 ADP ===> ATP + AMP (réaction de LOHMANE)

Voie anaérobie lactique : (atteint son maximum après 45s)

- Glycolyse anaérobie ==> acide lactique + 3 ATP

Aérobie : (met 2minutes pour s'installer pleinement)

- Glycolyse aérobie ===> CO_2 + H_2O + 38 ATP
- AA, Glu, Lip ===> CO_2 + H_2O + nATP

Dans les premières minutes de l'exercice Il y a dégradation du glycogène musculaire et hépatique.

Ensuite il y a utilisation des AG et l'acide acétoacétique

Les AA peuvent être utilisés mais dans une moindre proportion.

- L'énergie libérée sera transformée :

En travail : **W = F(charge)x L(déplacement)**

Rendement de 40%

En chaleur :

Chaleur initiale (HILL) : faiblement influencée par l'O_2, elle est subdivisée en :

- Chaleur d'activation (65%) : maximale durant la période de latence, elle correspond à la mise en activité des composantes contractiles (protéines).
- Chaleur de maintien : maximale lors du tétanos isométrique à la longueur de repos
- Chaleur de raccourcissement, d'allongement et de relâchement
- Effet thermo-élastique : comme tous les corps élastiques, le muscle s'échauffe à l'étirement et se refroidit au relâchement.

Chaleur retardée : chaleur aérobie qui accompagne les processus métaboliques de remise en état du muscle dans les conditions initiales.

Fatigue musculaire :

La fatigue musculaire est une incapacité physiologique de se contracter, elle est due à un problème de couple excitation-contraction.

Pendant la transmission du PA, les cellules musculaires perdent du K+, et la pompe Na+/K+ n'arrive plus à rétablir et à corriger rapidement cela ; il s'ensuit une accumulation de K+ dans le liquide des tubules T, ce qui perturbe le potentiel membranaire et bloque la libération de Ca^{2+}.

De plus, le Pi provenant de la dégradation d'ATP peut lui aussi altérer la libération de Ca^{2+}.

L'acide lactique jouerait un rôle dans la fatigue physiologique

Dette d'O_2 :

Après l'effort, une surconsommation d'O_2 est nécessaire pour reconstituer les réserves énergétiques, elle comporte deux parties :

- Dette alactique **:** précoce, elle correspond à la reconstitution du phosphagène (ATP, CP) et des réserves d'oxygène

- Dette lactique : survenant après, elle correspond à l'élimination de l'acide lactique.

La reconstitution du stock de glycogène s'effectue avec des délais beaucoup plus longs